

## ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ОТДЕЛЬНОЙ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОЙ РАБОТЫ

*В. Р. Млодецкий, д. т. н., проф., А. А. Мартыш, асп.*

**Ключевые слова:** планирование, организация, управление, организационно-технологическая надежность

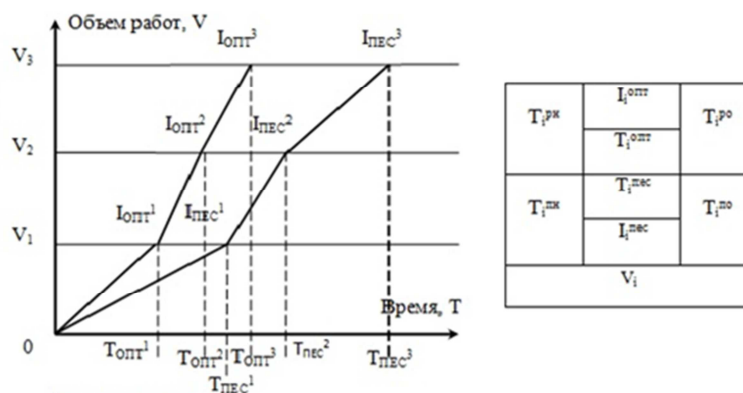
**Введение.** Вероятностный подход к описанию динамики выполнения реальных строительных процессов в настоящее время является общепринятым, различаются лишь подходы в его применении в зависимости от решаемых задач. Проведенные исследования по данной теме установили, что более всего условиям выполнения работ в строительстве отвечает  $\alpha$ -распределение случайного параметра времени выполнения фиксированного объема работ при условии, что интенсивность выполнения работ является также случайной величиной, распределенной по нормальному закону.

**Цель статьи.** Задача дальнейших исследований заключается в получении итогового распределения времени выполнения определенного объема работ с учетом сложной организационно-технологической взаимосвязи в составе календарного плана. Основная проблема – учесть в расчетах все возможное многообразие реальных ограничений по времени начала и окончания работ, а также учесть влияние каждой работы в составе календарного плана на конечное итоговое распределение.

**Анализ публикаций.** Данные исследования относятся к области организации и управления строительными процессами, в частности, к понятию организационно-технологической надежности. Существует немало работ, посвященных данной теме, начиная с исследований Д. И. Голенко [2] и А. А. Гусакова [3] в 60-х годах прошлого столетия. Отдельно хочется отметить описанную в работе [1] программу PERT (Program Evaluation and Review Technique), особенностью которой является учет факторов неопределенности при оценке условий реализации сложных проектов. В рассматриваемой работе определялся диапазон возможных значений завершения комплекса логически увязанных в сетевой график работ, и по нему находилась вероятность завершения работ в конечный срок. Основой такого расчета являлись вероятностные характеристики отдельных работ.

**Результаты исследований.** На рисунке 1 представлены различные ограничения, которые могут быть наложены на начало строительной работы на различных ее этапах. Здесь же для каждого варианта приводятся фрагменты зон расчетного квадрата, в котором указываются параметры по каждому отдельному этапу выполнения работ с указанием значений на «входе» и «выходе» этапа.

Был произведен расчет временных параметров для одного из вариантов разнородных последовательных этапов работы (разнородные – потому, что различная интенсивность на смежных этапах).



а

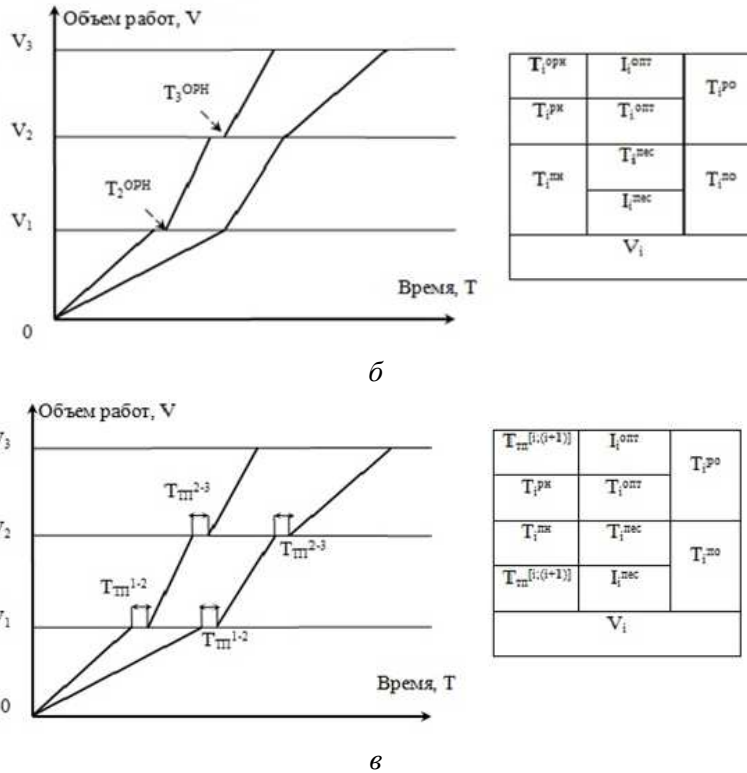


Рис. 1. Циклограммы возможных вариантов выполнения последовательных этапов одной работы и соответствующие им квадраты (матрицы) расчетных временных параметров; а – выполнение работ без дополнительных ограничений; б – выполнение работ с ограничениями по ранним началам; в – выполнение работ с технологическими перерывами между смежными этапами

В расчетах были приняты следующие обозначения:

$V_i$  – объем работ, выполняемых на  $i$ -м этапе;

$I_i^{o,n}$  – соответственно оптимистическая и пессимистическая интенсивность выполнения работ;

$T_i^{o,n}$  – соответственно оптимистическая и пессимистическая продолжительность выполнения объема работ  $V_i$ ;

$T_i^{(рн),(пн)}$  – соответственно раннее и позднее начало работы;

$T_i^{(по),(но)}$  – соответственно раннее и позднее окончание работы.

Для первого этапа работы  $T_i^{рн} = T_i^{пн} = 0$ .

При выполнении работ с технологическими перерывами между смежными этапами (рис. 1, в) параметр ограничения обозначим  $t_{\text{ТП}}^{[i;(i+1)]}$ , который указывает величину перерыва между предыдущим  $i$ -м участком и последующим  $(i+1)$ .

Временные параметры работ определяются из условия:

$$T_i^{\text{PH}} = T_{i-1}^{\text{PO}} + T_{\text{ТП}}^{[i;(i+1)]} \quad (1)$$

$$T_i^{\text{PO}} = T_i^{\text{PH}} + T_i^{\text{O}} \quad (2)$$

$$T_i^{\text{ПН}} = T_{i-1}^{\text{ПО}} + T_{\text{ТП}}^{[i;(i+1)]} \quad (3)$$

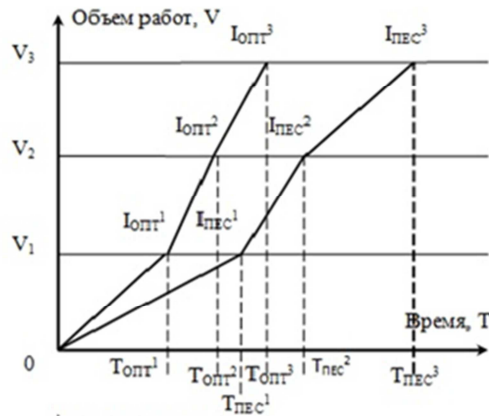
$$T_i^{\text{ПО}} = T_i^{\text{ПН}} + T_i^{\text{П}} \quad (4)$$

Расчет параметров по рассматриваемому варианту сведен в таблицу 1.

Таблица 1

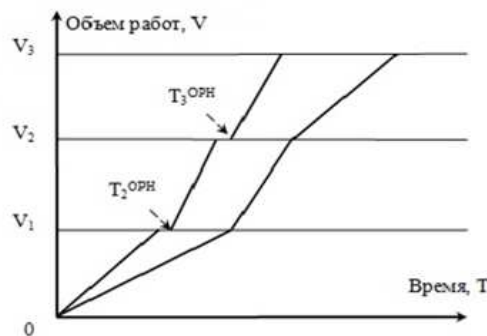
Расчет временных параметров работы на трех смежных участках с вынужденными технологическими перерывами перед началом работ на участке

0	15	3,3	0,3	24	4,9	0,4	34	7,1
0	3,3		3,6	1,3		5,3	1,8	
0	4,2	4,2	4,6	1,5	6,1	7,0	3,3	10,3
0	12		0,4	20		0,9	18	
50			30			60		



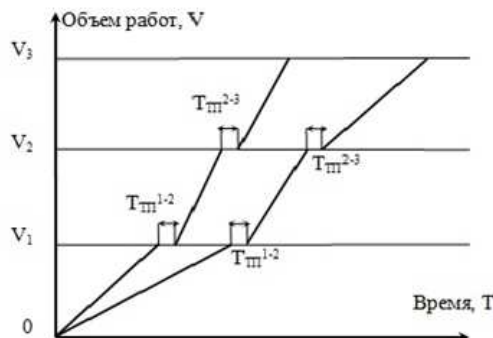
$T_{i,рж}$	$I_{i,опг}$	$T_{i,по}$
	$T_{i,опг}$	
$T_{i,пк}$	$T_{i,пес}$	$T_{i,по}$
	$I_{i,пес}$	
$V_i$		

а



$T_{i,орж}$	$I_{i,опг}$	$T_{i,по}$
$T_{i,рж}$	$T_{i,опг}$	
$T_{i,пк}$	$T_{i,пес}$	$T_{i,по}$
	$I_{i,пес}$	
$V_i$		

б



$T_{п^{[i:(i+1)]}}$	$I_{i,опг}$	$T_{i,по}$
$T_{i,рж}$	$T_{i,опг}$	
$T_{i,пк}$	$T_{i,пес}$	$T_{i,по}$
$T_{п^{[i:(i+1)]}}$	$I_{i,пес}$	
$V_i$		

в

Рис. 1. Циклограммы возможных вариантов выполнения последовательных этапов одной работы и соответствующие им квадраты (матрицы) расчетных временных параметров; а – выполнение работ без дополнительных ограничений; б – выполнение работ с ограничениями по ранним началам; в – выполнение работ с технологическими перерывами между смежными этапами

Когда анализируется выполнение одной работы, график выполнения – циклограмма – может строиться в координатах  $V; 0; T$ . При необходимости можно построить вариант циклограммы с захватками.

На рисунке 2 приведена циклограмма, построенная по рассчитанным выше параметрам для варианта В (с технологическими перерывами между этапами). Для построения функции

надежности для этой циклограммы (рис. 4) было применено  $\alpha$ -распределение. Особенностью применения данного вида распределения к итоговому этапу работ является то, что формула  $\alpha$ -распределения описывает «веерную» функцию, а в данном случае мы имеем только завершающий фрагмент этого веера. И задача заключается в том, как определить в этом случае параметры данного закона распределения.

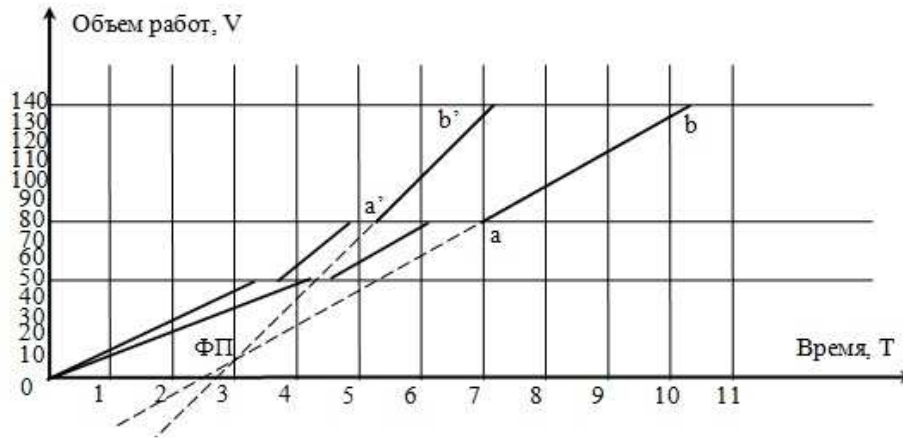


Рис. 2. Циклограммы выполнения работ с технологическими перерывами между участками, фиктивный полюс, используемый для расчета параметров итогового распределения времени окончания работы

В этом случае применяется искусственный прием, связанный с построением «фиктивного полюса» [4; 5], по отношению к которому рассчитываются искомые параметры распределения. Фиктивный полюс – это та точка в координатном поле  $V; 0; T$ , начиная с которой работа с интенсивностями  $I_N^{ОПТ}$  и  $I_N^{ПЕС}$ , соответствующими последнему  $N$ -му этапу, обеспечивает такой же диапазон сроков окончания работ, как и для реальной последовательности чередования отдельных этапов работ с учетом наложенных ограничений. Для нахождения координаты фиктивного полюса ( $V_\Phi; 0; T_\Phi$ ) воспользуемся правилом нахождения уравнения прямой, проходящей через 2 точки (для прямых  $ab$  и  $a'b'$  на рис. 2).

Координаты точки  $a$  ( $T_{ПН}^N; V_{N-1}$ ), координаты точки  $b$  ( $T_{ПО}^N; V_N$ )

$$\frac{T_{ПО}^N - T_{ПН}^N}{T - T_{ПН}^N} = \frac{V_N - V_{N-1}}{V - V_{N-1}}. \quad (5)$$

После несложных преобразований и учитывая, что

$$\frac{V_N - V_{N-1}}{T_{ПО}^N - T_{ПН}^N} = I_{ПЕС}, \quad (6)$$

окончательно получим:

$$V = I_{ПЕС} * (T - T_{ПН}^N) + V_{N-1}. \quad (7)$$

Аналогично для прямой, проходящей через точки  $a'$  ( $T_{РН}^N; V_{N-1}$ );  $b'$  ( $T_{РО}^N; V_N$ )

$$V' = I_{ОПТ} * (T - T_{РН}^N) + V_{N-1} \quad (8)$$

Из полученной системы уравнений (7; 8) найдем координаты «фиктивного полюса»:

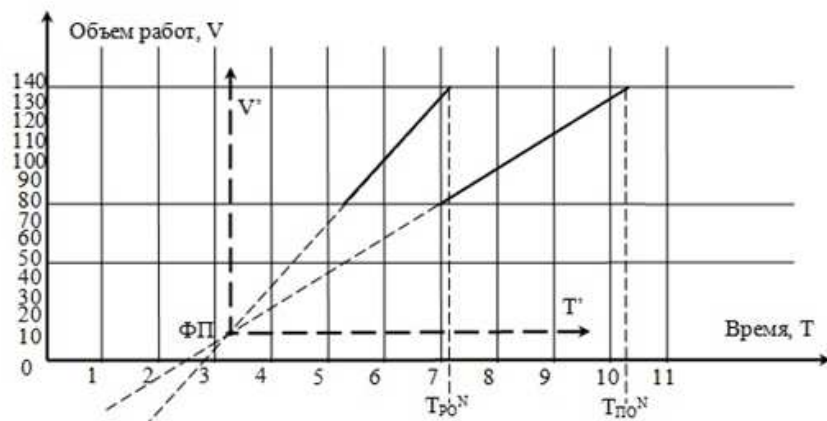
$$T_\Phi = \frac{(I_{ОПТ} * T_{РН}^N - I_{ПЕС} * T_{ПН}^N)}{(I_{ОПТ} - I_{ПЕС})}; \quad (9)$$

$$V_\Phi = V_{N-1} - \left[ \frac{T_{ПН}^N - T_{РН}^N}{\left(\frac{1}{I_{ПЕС}}\right) - \frac{1}{I_{ОПТ}}} \right] \quad (10)$$

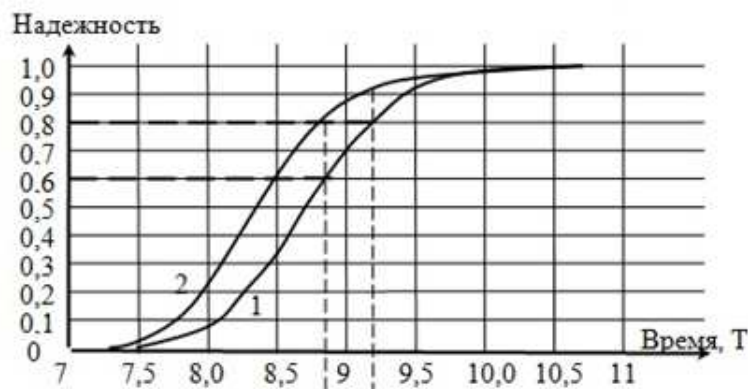
На рисунке 3 приведена блок-схема расчета параметров итогового распределения работы, в результате чего определяется время окончания заданного объема работ при требуемом уровне надежности.



срока окончания неслучайного объема работ  $V_k$ . Результаты этого расчета представлены в графическом виде на рисунке 4.



а



б

Рис. 4. Эквивалентная работа в системе вспомогательных координат (а) и функция надежности срока окончания работ (б); 1 – функция нормального закона; 2 – функция  $\alpha$ -распределения

Сравнение функций надежности (нормального закона и  $\alpha$ -распределения на рисунке 4) показывает, что для данных условий выполнения работы они существенно разнятся. Так, для выделенного в качестве обоснованного диапазона надежности 0,6 – 0,8 для времени  $T = 8,8$  разница в значениях надежности, рассчитанной по различным законам, составляет 20 %, что в практических расчетах является достаточно серьезной разбежностью в результатах.

Учет асимметрии в распределении конечного случайного показателя дает по сравнению с нормальным законом более оптимистические результаты. Так например, как следует из рисунка 3 б, время окончания работ  $T = 8,5$  соответствует надежности, определенной по нормальному закону, всего  $N = 0,35$ , в то же время как по  $\alpha$ -распределению это нижний рекомендуемый уровень надежности  $N = 0,6$ .

**Вывод.** Таким образом, в результате определенных исследований обоснованы границы применения симметричного (нормального) закона и асимметричного ( $\alpha$ -распределения) для описания случайного значения времени окончания заданного (неслучайного) объема работ.

В такой постановке задача является типовой решаемой в области технологии и планирования строительного производства. Доказано, что несоблюдение рекомендуемых границ применения нормального закона в задачах такого типа может привести к значительным погрешностям в обосновании параметров надежности достижения конечного результата.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ахьюджа Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве / Х. Ахьюджа // Пер. с англ. Б. С. Луриянова. – М. : Мир, 1979. – 638 с.
2. Голенко Д. И. Статистические методы сетевого планирования и управления / Д. И. Голенко. – М. : Наука, 1968. – 299 с.

3. **Гусаков А. А.** Организационно-технологическая надежность строительного производства / А. А. Гусаков. – М. : Стройиздат, 1974. – 252 с.
4. **Млодецкий В. Р.** Организационно-технологическая и управленческая надежность функциональной системы строительной организации: дисс. д. т. н.: 05.23.08 «Технология и организация промышленного и гражданского строительства» / Млодецкий Виктор Ростиславович – Д., 2005. – 298 с.
5. **Млодецкий В. Р.** Управленческая реализуемость строительных проектов / В. Р. Млодецкий. – Д. : Наука і освіта, 2005. – 261 с.

УДК 69.057:658.513.4

**Вероятностные параметры выполнения отдельной строительно-монтажной работы / В. Р. Млодецкий, А. А. Мартыш // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПГАСА, 2013. – № 3. – С. 8 – 14. – рис. 4. – табл. 1. – Библиогр.: (5 назв.).**

Проанализированы возможные ограничения по выполнению работ в составе календарного плана. Рассчитаны параметры итогового распределения времени окончания работы при помощи приема «фиктивного полюса». Доказано, что использование нормального распределения для описания времени окончания работ имеет свое ограничение, и в некоторых случаях для более точного результата необходимо использовать  $\alpha$ -распределение.

*Ключевые слова:* планирование, организация, управление, организационно-технологическая надежность.

**Імовірнісні показники виконання окремої будівельно-монтажної роботи / В. Р. Млодецький, А. А. Мартиш // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2012. – № 3. – С. 8 – 14. – рис. 4. – табл. 1. – Бібліогр.: (5 назв.).**

Проаналізовано можливі обмеження, що можуть бути накладені на початок роботи в будівництві. Розраховано параметри кінцевого розподілу часу виконання роботи за допомогою прийому «фіктивного полюсу». Доведено, що використання нормального розподілу має свої обмеження для опису часу виконання робіт і що в деяких випадках більш надійні дані дає використання так званого  $\alpha$ -розподілу.

*Ключові слова:* планування, організація, управління, організаційно-технологічна надійність.

**Probabilistic performance indicators of assembly work / V. R. Mlodetsky, A. A. Martysh // Visnyk of Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – D. : PSACEA, 2013. – № 3. – P. 8 – 14. – pic. 4. – tabl. 1. – Bibliogr.: (5 names).**

Possible limitations for schedule work starts were analyzed. It was shown the example of calculations of parameters of the final distribution of the work's end by using "a fictitious pole". It was proved that the use of normal distribution to describe the work's end has its limitations, and in some cases for more accurate result it is necessary to use the  $\alpha$ -distribution.

*Key words:* planning, organizing, management, organizational and technological reliability.